УДК 621.721

В.В. Поцепаев (канд. техн. наук, доц.), М.А. Паршиков
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
кафедра автоматики и телекоммуникаций
E-mail: Potsepaev56@mail.ru

ЗАДАЧА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ПРОКАТА НА УЧАСТКЕ ХОЛОДИЛЬНИКА СТАНА 390

Рассмотрены недостатки существующего ручного управления перемещением проката на участке холодильника стана 390. Поставлена задача автоматического управления перемещением проката. Разработана математическая модель процесса транспортирования проката, показана реализация математической модели в среде Simulink. Разработана система автоматического управления, обеспечивающая допустимый разброс проката на участке холодильника при проектной скорости прокатки.
Ключевые слова: *автоматическое управление, математическая модель, прокат, перемещение, разброс, холодильник, стан 390.*

Общая постановка проблемы

Разброс положений раската арматурного прута на решетке холодильника, существенно превышающий допустимый, является причиной большого количества отходов проката, фактором, ограничивающим скорость прокатки, причиной напряженного внимания оператора по управлению процессом перемещения. В связи с этим возникла задача создания системы автоматического управления перемещением проката на участке холодильника.

Постановка задач исследования

Выполнить экспериментальные исследования транспортирования проката и его перемещения на участке холодильника стана 390. Разработать математическую модель процесса транспортирования проката и его перемещения по решетке холодильника с учетом факторов, определяющих разброс перемещений. На основании математической модели разработать САУ перемещением проката.

Решение задач и результаты исследований

После завершения прокатки движущийся по приемному рольгангу сортамент сбрасывается с рольганга на участке холодильника поднятием тормозного упора (шибера) на приемный зуб холодильника и движется по инерции по решетке холодильника до остановки. После остановки раскат, заданная скорость прокатки которого составляет 13 – 15 м/с, имеет существенный разброс положений относительно конца холодильника. Разброс возрастает с увеличением скорости прокатки и при максимальном ее значении 14.8 м/с превышает 10 метров (рис.1).

Правильная машина в линии выравнивания холодильника позволяет выровнять указанный разброс, если он не превышает 5 м. Остаточный разброс приводит к необходимости зачищать большую длину переднего и заднего краев слоя проката при резании его на мерные длины. В результате количество металла, отправляемого на переработку, достигает 150 тонн в сутки, что приводит к дополнительным расходам на производство проката.

© Поцепаєв В.В., Паршиков М.А., 2013

При прокатке арматурного профиля диаметром 20мм наличие разброса вынуждает снизить скорость прокатки до 14.8 м/с при проектном значении 18.5 м/с, что ведет к потерям производства проката около 300 тонн в сутки.

Рисунок 1 – Разброс раската на решетке холодильника

Существующая технология предусматривает управление перемещением раската путем задания времени сброса и периода включения тормозных электромагнитов, встроенных в шибер. Время сброса отсчитывается от момента срабатывания датчика наличия 7 (рис. 2), расположенного в 80 м от конца холодильника. Оба параметра задаются оператором с терминала на основании имеющегося опыта и корректируются визуально по фактическому положению раската в процессе прокатки. Необходимость коррекции названных параметров превышает 70 раз в смену. Возможное ускорение раската после прохождения датчика наличия и, следовательно, фактическая скорость в момент сброса и не контролируется.

Другим важным фактором, влияющим на на перемещение, является температура прутка, имеющая разброс в различных резах после термоупрочнения до 40^{o}. Зависимость перемещения от температуры при существующем управлении не контролируется. В математической модели процесса и в прогнозирующей модели перемещения контроллера необходимо учитывать эту зависимость для корректного расчета момента сброса.

Для обеспечения расстояния между двумя смежными раскатами при транспортировании рольганг имеет три коммутационные секции роликов S_1, S_2, S_3 (рис. 2). Скорость вращения роликов и, следовательно, линейная скорость транспортирования каждой следующей секции на 5 – 9% выше предыдущей. Скорость первой секции на 5 – 9% выше скорости прокатки. Скорость каждой секции настраивается в соответствии с

программой прокатки для каждого вида сортамента. Таким образом, имеет место ускоренное движение проката по рольгангу.

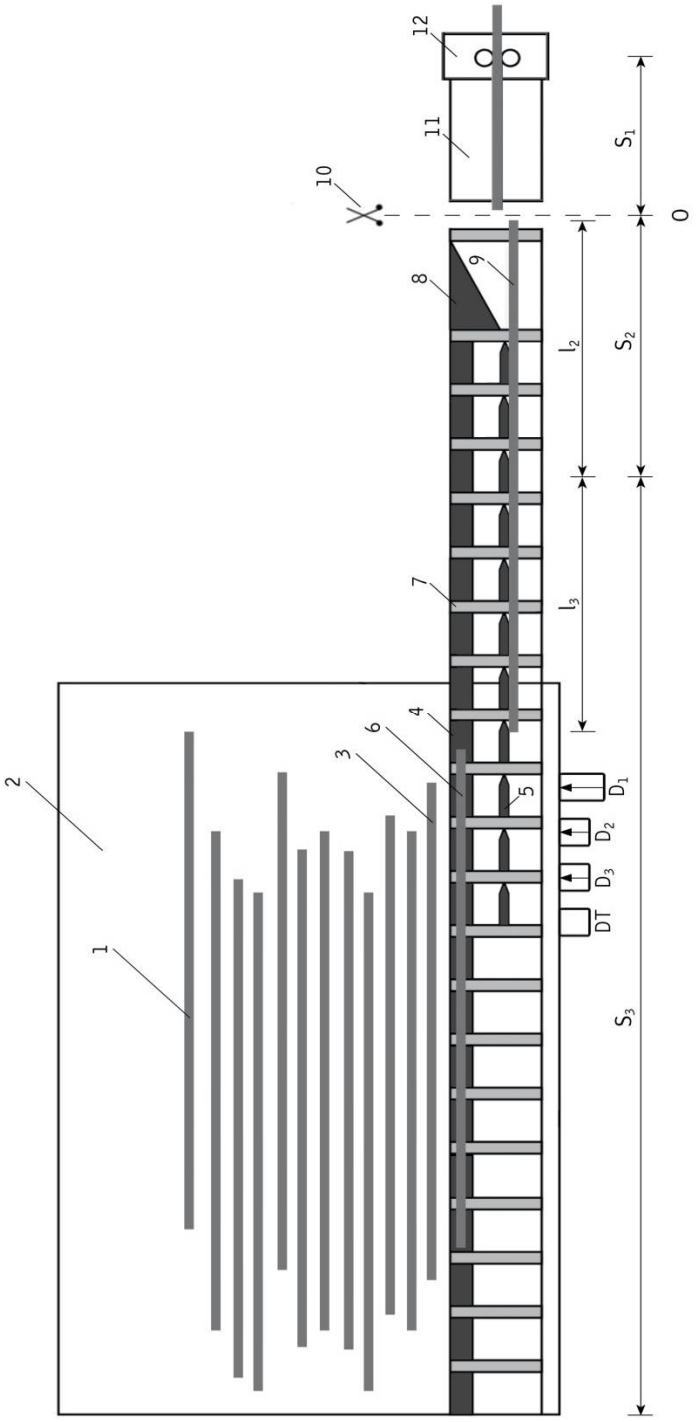

Рисунок 2 – Схема транспортирования проката:
1 – раскат на реечном стеллаже холодильника; 2 – реечный холодильник;
3 – раскат на приемном зубе решетки холодильника; 4 – выдвижной тормозной упор;
5 – разделительная перегородка; 6 – раскат на тормозном упоре;
7 – ролик рольганга; 8 – разделитель; 9 – раскат на рольганге с поднятой перегородкой;
10 – ножницы; 11 – участок термоупрочнения; 12 – клеть № 18

Начиная с момента срабатывания ножниц или выхода последнего раската в заготовке из клети, каждая из трех секций рольганга воздействует на раскат с силой

$$F_i = \frac{n_i \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot \mu}{n} sign(v_i - \dot{x}), \quad i = 1,2,3.$$

здесь n_i - число роликов в i-той секции, на которых лежит раскат; n – общее число роликов, на которых лежит раскат; m – масса раската; g – ускорение свободного падения; α - угол наклона плоскости рольганга; μ - коэффициент трения; v_i - линейная скорость роликов i-той секции; $\dot{x}$ - скорость раската. Заметим, что начальная скорость раската $\dot{x}(0)$ равна скорости выхода его из клети v_0.

Выразим

$$n_i = \frac{l_l}{l_r}, \text{ а } n = \frac{l_p}{l_r},$$

где l_i - часть раската, движущаяся по i-той секции рольганга; l_r - расстояние между осями соседних роликов; l_p - длинна раската.

С учетом этого

$$F_i = \frac{l_i \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot \mu}{l_p} sign(v_i - \dot{x}), \quad i = 1,2,3.$$

Кроме рассмотренных сил на раскат действует сила трения о перегородки F_p, вначале о разделительную, а далее - о тормозной упор (рис. 2).

$$F_p = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \cdot \mu_p$$

здесь μ_p - коэффициент трения раската о перегородку.

С учетом рассмотренных сил уравнение движения раската по рольгангу до момента его сброса:

$$\ddot{x} = \frac{g \cdot \cos(\alpha) \cdot \mu}{l_p} \sum_{i=1}^{3} l_i \cdot sign(v_i - \dot{x}) - g \cdot \sin(\alpha) \cdot \mu_p;$$

$$l_1 = \begin{cases} l_p, x + l_p \le 0, \\ -x, x + l_p > 0 \wedge x < 0, \\ 0, x \ge 0; \end{cases}$$

$$l_2 = \begin{cases} x + l_p, x < 0 \wedge x + l_p \le S_2 \wedge x + l_p > 0, \\ S_2, x < 0 \wedge x + l_p > S_2, \\ l_p, x \ge 0 \wedge x + l_p \le S_2, \\ S_2 - x, x \ge 0 \wedge x < S_2 \wedge x + l_p > S_2 \\ 0, x \ge S_2, \\ 0, x + l_p \le 0; \end{cases}$$

$$l_3 = \begin{cases} 0, x + l_p \le S_2, \\ l_p, x > S_2, \\ x + l_p - S_2, x + l_p > S_2 \wedge x < S_2; \end{cases}$$

Условия в определениях длин l_i определяют все возможные положения раската относительно трех секций рольганга.

Началом отсчета перемещения заднего конца раската x ($x=0$) является ось ножниц, разделяющая первую и вторую секции рольганга. Перемещение последнего раската начинается с точки $x=-33.5$ (33.5 м – длина первой секции рольганга между клетью и ножницами см. рис. 1), поскольку последний раскат ножницами не режется. Поэтому перемещение $x<0$ и часть раската, движущаяся по первой секции $l_1>0$, имеет место только для последнего раската в заготовке.

При сбросе раската с рольганга он по инерции движется по поверхности поднятого шибера и скатывается на приемный зуб холодильника, продолжая двигаться до остановки. На период времени нахождения раската на поверхности шибера (≈ 1 с) или на его часть, задаваемую оператором, может быть включен электромагнитный тормоз, встроенный в шибер. Таким образом, осуществляется торможение за счет увеличения усилия прижатия раската к поверхности шибера. Уравнение движения раската в момент поднятия шибера может быть представлено

$$\ddot{x} = -k(t_t)\cdot g\cdot \mu_t .$$

здесь t_t - период времени торможения; $k(t_t)$ - коэффициент, учитывающий увеличение усилия прижатия раската к поверхности шибера электромагнитным тормозом, $k(t_t)=1$ при $t_t=0$ и $k(t_t)>1$ при $t_t>0$; μ_t - коэффициент сухого трения о поверхность шибера, приемный зуб и решетку холодильника.

Адекватность математической модели подтверждена сравнением результатов экспериментальных исследований и моделирования перемещений проката, реальных моментов сброса и периодов включения электромагнитов тормоза, устанавливаемых оператором, и рассчитанных программой контроллера.

Математическая модель и САУ перемещением, реализованная в среде Simulink, приведена на рис. 3. Модель контроллера ввиду обширной логики реализована программно в виде m - функции. На основании измеренных посредством датчиков наличия D1, D2, D3 (соответственно релейные блоки Relay2, Relay3, Relay4 в модели) скорости и возможного ускорения, а также температуры (блок DT) программа контроллера вырабатывает управляющие воздействия – момент сброса и период включения электромагнитов тормоза.

На рис. 4 показан пример моделирования транспортирования проката и перемещения под управлением САУ при скорости прокатки 16 м/с и длине раската 80 м. На рисунке обозначены: v – скорость раската, dx – расстояние от переднего конца раската до конца холодильника. Отсчет времени t=0 ведется от момента отделения раската ножницами. Точка 1 – начало ускоренного движения раската. В точке 2 САУ вырабатывает сигнал на сброс (поднятие тормозного упора) и включение электромагнитов тормоза на период времени $\approx 0.12\,c$. В точке 3 САУ отключает электромагниты тормоза и под воздействием силы трения скорость линейно уменьшается до остановки раската. По технологии расстояние от переднего конца раската до конца холодильника должно составлять $\approx 2.5\,м$. В приведенной реализации это расстояние составляет 2.96 м, таким образом, ошибка управления составляет 0.46 м.

Моделирование во всем диапазоне скоростей прокатки, во всем диапазоне разброса температур и при различных длинах проката показало, что максимальный разброс положений проката на холодильнике не превышает 1.65 м при допустимом разбросе 5 м, что свидетельствует о вполне приемлемом качестве управления и решении поставленной задачи.

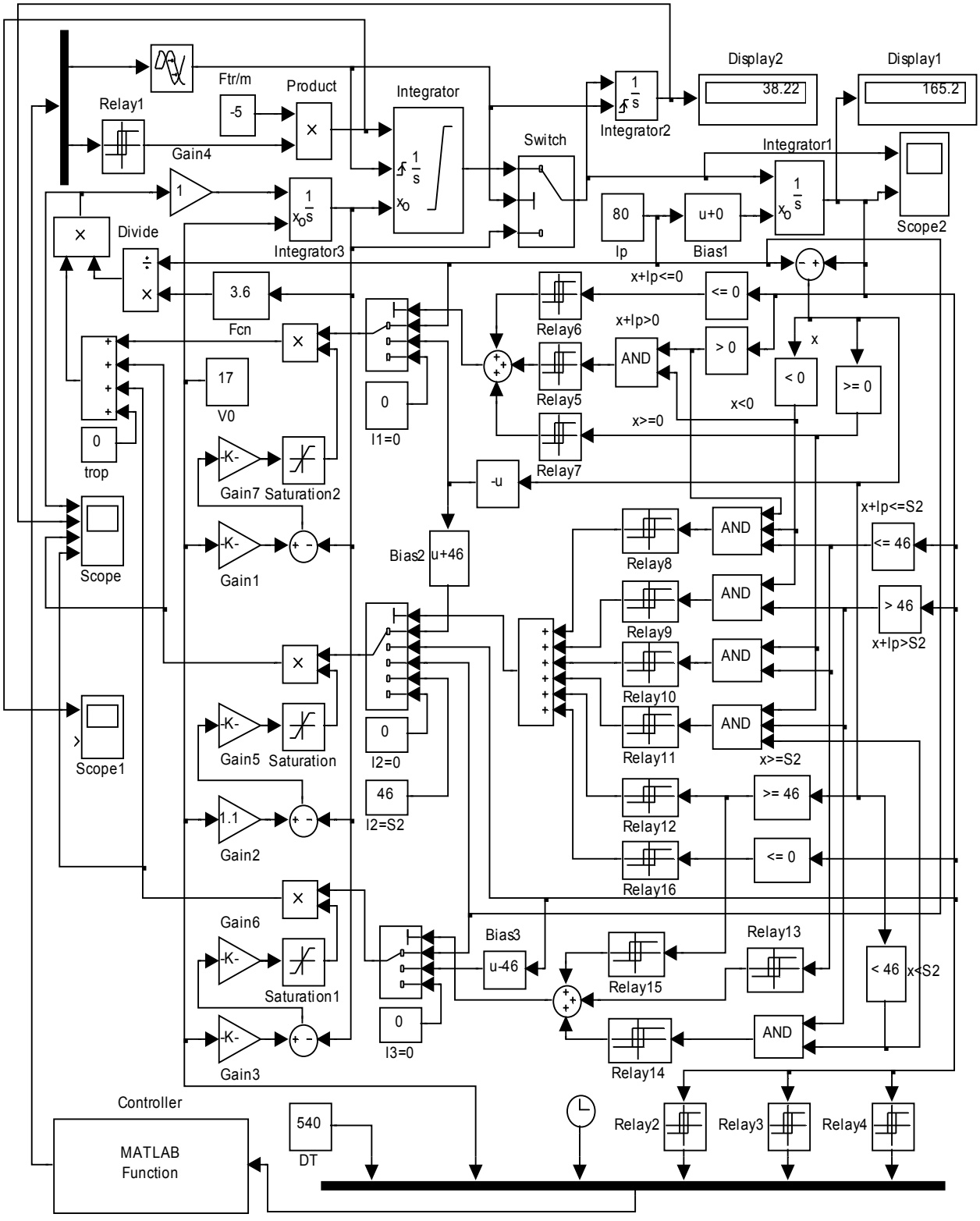

Рисунок 3 – Реализация математической модели транспортирования проката и его перемещения под управлением САУ в среде Simulink

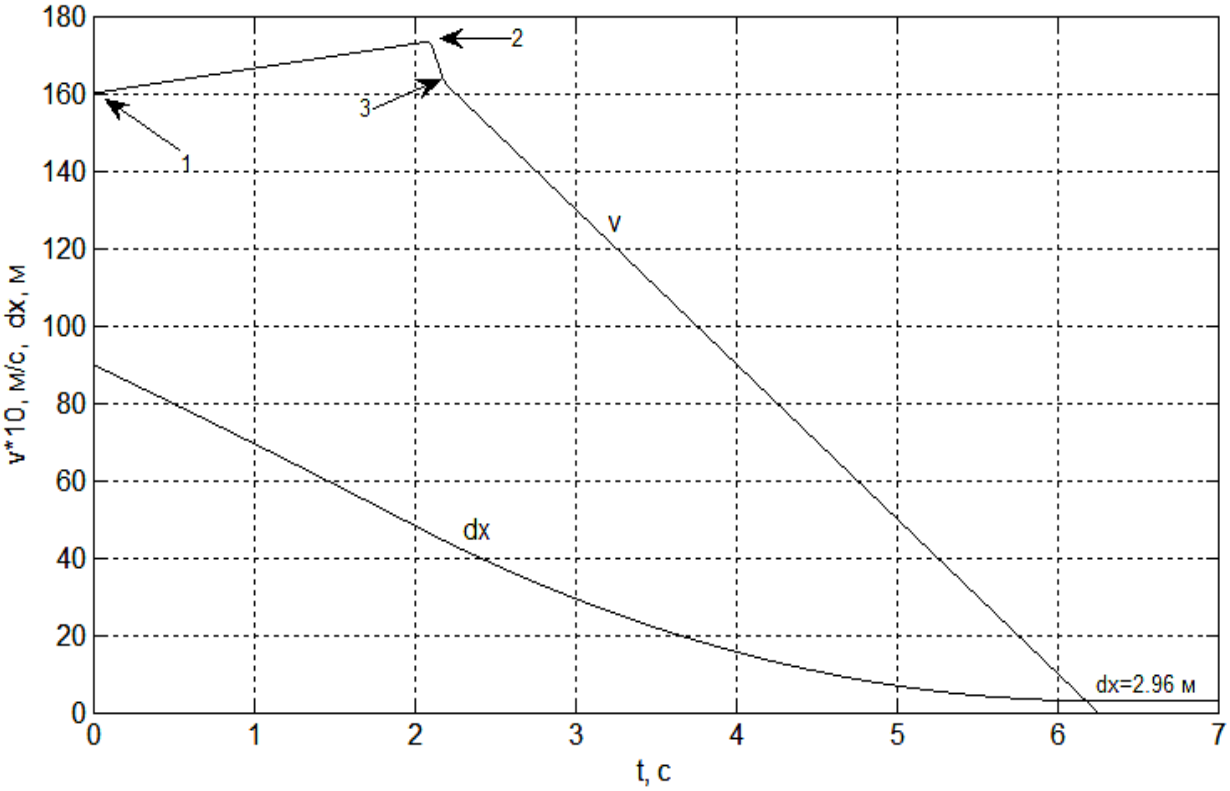

Рисунок 4 – Моделирование транспортирования и перемещения проката под управлением САУ

Выводы

1. Экспериментальными исследованиями транспортирования проката и его перемещений установлены основные факторы, влияющие на разброс проката на холодильнике прокатного стана 390.
2. Разработана математическая модель транспортирования и перемещения проката на холодильнике прокатного стана.
3. Разработана система автоматического управления перемещением проката, обеспечивающая допустимый разброс раската на холодильнике во всем диапазоне скоростей прокатки при пуске стана и при максимальной проектной скорости прокатки.

Список использованной литературы

1. Кузьменко А.Г. Новая технология и оборудование электромагнитного торможения термоупрочненного арматурного проката / А.Г. Кузьменко, В.Н. Виноградов, Д.А. Клещенко, Н.С. Сухарев // Производство проката. – 2012. - № 7. – С. 18-24.
2. Патент на изобретение 2368444 (RUS) Приемный участок холодильника сортового прокатного стана / И.Б. Бенедечук, В.А. Монид, В.А. Добродей и др. Опубл. 27.09.2009.
3. Патент на изобретение 2437732 (RUS) Способ принудительного электромагнитного торможения и фиксированной остановки термоупрочненного ферромагнитного проката / А.Г. Кузьменко, Д.А. Клещенко. Опубл. 31.03.2010.
4. Голенков М.А. Методика расчета времени охлаждения проката и размеров холодильников прокатных станов. / М.А. Голенков, А.Г. Зинягин // Заготовительные производства в машиностроении. – 2008. - № 11. – С. 38-43.

Надійшла до редакції:
16.04.2013 р.

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Скобцов Ю.О.

В.В. Поцепаєв, М.А. Паршиков
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Задача автоматичного управління переміщенням прокату на ділянці холодильника стану 390. *Р. Розглянуто недоліки існуючого ручного управління переміщенням прокату на ділянці холодильника стану 390. Поставлено завдання автоматичного управління переміщенням прокату. Розроблено математичну модель процесу транспортування прокату з врахуванням основних факторів, що впливають на розкид розкату на холодильнику , показана реалізація математичної моделі в середовищі Simulink. Розроблена система автоматичного управління, що забезпечує допустимий розкид прокату на ділянці холодильника при проектній швидкості прокатки.*
Ключові слова: *автоматичне управління, математична модель, прокат, переміщення, розкид, холодильник , стан 390.*

V.V. Potsepaev, M.A. Parshykov
Donetsk National Technical University

The Problem of Automatic Control of Rolled Stock Moving on the Cooling Bed of Mill 390. *The scattering of the position of rolled bar on the grid of a cooling bed often exceeds the admissible limit leading to significant amount of waste during the rolling process, rolling speed reduction and requires frequent interventions of the operator into the process. The largest scattering takes place during the launch of the rolling mill when the speed of the mechanism gradually grows. The main cause for the scattering is the manual control of the drop of rolled stock from the roller bed and its slowdowning. The problem is important for light-section mills. We formulate the problem of positioning of rolled stock on the cooling bed as automatic control problem.*

A number of experiments with the rolled stock and its displacement were conducted and a computational model was proposed based on the factors defining the scattering of displacements. The model reproduces the stock transportation on three commutative sections of rolled bed (sections have different rolls rotation speed), drop from the roller bed, slowdowning via an electromagnetic break and slowdowning on the grid of rack-type cooling bed. The model is implemented in Simulink. The comparison of experimental data with the modelling results confirms the suitability of the mathematical model.

A system of automatic control of the position of rolled stock is developed based on the proposed model. The speed of rolling stock and its temperature before the drop are measured via detectors and pyrometer. Based on measurements the system controller computes the control action – the moment of the drop and interval when electromagnetic break is switched on. Based on the modeling results the automatic control system provides admissible scattering of stock displacements relative to the edge of the cooling bed in the overall interval of rolling speed during the launch of the rolling mill and during the highest rolling speed.
Keywords: *automatic control, mathematical model, moving, scattering, cooling bed, rolling mill 390.*